

Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

ISSN 2306-8744

DOI: 10.37128/2306-8744-2022-2

Вібрації в техніці та технологіях



Всеукраїнський науково-технічний журнал

Ukrainian Scientific & Technical Journal

Вібрації в техніці та технологіях

№ 2 (105)

Вінниця 2022

**ВІБРАЦІЇ В
ТЕХНІЦІ ТА
ТЕХНОЛОГІЯХ**

Журнал науково-виробничого та навчального
спрямування Видавець: Вінницький національний
аграрний університет

Заснований у 1994 році під назвою “Вібрації в техніці та
технологіях”

*Свідоцтво про державну реєстрацію засобів масової
інформації*

КВ № 16643-5115 ПР від 30.04.2010 р.

*Всеукраїнський науково-технічний журнал “Вібрації в техніці та
технологіях” / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця,
2022. – 2 (105) – 129 с.*

*Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного аграрного
університету (протокол № 1 від 30.08.2022 р.)*

*Періодичне видання включено до Переліку наукових фахових видань
України з технічних наук (Категорія «Б» Наказ Міністерства освіти і науки
України від 02.07.2020 р. № 886)*

Головний редактор

Калетнік Г.М. – д.е.н., професор,
академік НААН України, Вінницький
національний аграрний університет

**Заступник головного
редактора**

Адамчук В.В. – д.т.н., професор, академік
НААН України, Національний науковий
центр “Інститут механізації та електрифікації
сільського господарства”

Відповідальний секретар

Солона О.В. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Члени редакційної колегії

Булгаков В.М. – д.т.н., професор, академік
НААН України, Національний університет
біоресурсів і природокористування України

Граняк В.Ф. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Деревенько І. А. – к.т.н., доцент,
Національний університет «Львівська
політехніка»

Зіньковський А.П. – д.т.н., професор,
Інститут проблем міцності імені Г. С.
Писаренка НАН України

Купчук І.М. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Матвеев В.В. – д.ф.-м.н., професор,
академік НАН, Інститут проблем міцності
імені Г.С. Писаренка НАН України

Полєвода Ю.А. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Севостьянов І.В. – д.т.н., професор,
Вінницький національний аграрний
університет

Твердохліб І.В. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Токарчук О.А. – к.т.н., доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Цуркан О.В. – д.т.н. доцент, Вінницький
національний аграрний університет

Зарубіжні члени редакційної колегії

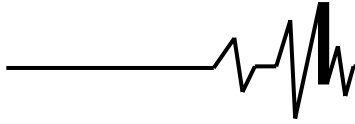
Максімов Джордан Тодоров – д.т.н., проф., Технічний Університет Габрово (Болгарія)

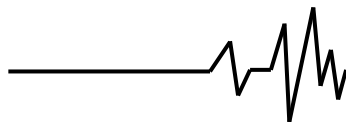
Технічний редактор **Замрій М.А.**

Адреса редакції: 21008, Вінниця, вул. Сонячна 3, Вінницький національний аграрний
університет, тел. 46 – 00– 03

Сайт журналу: <http://vibrojournal.vsau.org/>

Електронна адреса: vibration.vin@ukr.net

**З М І С Т****1. ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ТА МАШИН***Sevostianov I.***ELABORATION OF PROCESSES OF VIBRO-BLOWING DEHYDRATION OF DAMP DISPERSIVE MATERIALS IN A CLOSED PRESS-FORM.....5***Луц П.М.***ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ АНТИВІБРАЦІЙНОЇ ВІДЖИМНОЇ НАСАДКИ ПРЕСУ17***Степаненко С.П., Котов Б.І., Рудь А.В., Замрій М.А.***ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РУХУ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ НА ПОВЕРХНІ СТУПІНЧАСТОГО ВІБРОЖИВИЛЬНИКА.....25***Купчук І.М., Дідик А.М.***ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНОВИХ КОРМІВ ЗАЛЕЖНО ВІД КОНСТРУКЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІБРАЦІЙНОЇ ДИСКОВОЇ ДРОБАРКИ33****2. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛООБРОБКА***Сивак Р. І., Солоня О.В., Залізняк Р. О.***ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ОДНО- ТА ДВОВИМІРНИХ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ КІНЕМАТИКИ ПЛАСТИЧНОЇ ТЕЧІЇ МЕТАЛУ45***Веселовська Н. Р., Брацлавець Б.С., Іскович-Лотоцький Р.Д., Шевченко В.В.***ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗОНДУВАННЯ ҐРУНТІВ НА УСТАНОВКАХ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ.....52***Matviychuk V., Gaidamak O. Karpiichuk M.***REATING SURFACE LAYERS OF PARTS WITH INCREASED TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS USING COLD GAS-DYNAMIC SPRAYING.....65***Sevostianov I., Melnyk O.***SYSTEMS OF AUTOMATIC CONTROL FOR HYDROPONIC TECHNOLOGICAL COMPLEXES 76***Матвійчук В.А., Колісник М.А., Штуць А.А.***ПОБУДОВА КРИВИХ ГРАНИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ МАТЕРІАЛІВ84***Shargorodskiy S., Yaschuk E.***INVESTIGATION OF OPERATION OF THE HYDROVOLUMIC MANUAL CONTROL SYSTEM ON THE BASIS OF A DOSING PUMP WITH AXIAL SPOILER WITH ACCIDENTAL LOAD.....91***Швець Л.В., Труханська О.О.***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАЛЬЦЮВАННЯ ЗАГОТОВОК З АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ В УМОВАХ ІЗОТЕРМІЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ.....104***Гулько І.В., Грибик Р.І.***МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ КОМБІНОВАНОГО ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ115****3. ПЕРЕРОБНІ ТА ХАРЧОВІ ВИРОБНИЦТВА***Полєвода Ю. А., Рєва В.Ю., Попов І.І.***МЕТОДИ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА122**

**Луц П.М.**

к.т.н., старший викладач

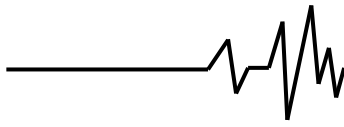
**Вінницький національний
аграрний університет****Luts P.**Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer**Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 631.36****DOI: 10.37128/2306-8744-2022-2-2****ОБҐРУНТУВАННЯ
КОНСТРУКТИВНИХ
ПАРАМЕТРІВ
АНТИВІБРАЦІЙНОЇ ВІДЖИМНОЇ
НАСАДКИ ПРЕСУ**

Використання пивної дробини, як додаткової складової раціону у годівлі тварин в сучасних умовах є дуже актуальним питанням. В наслідок її сезонного утворення у великому об'ємі виникає необхідність додаткової переробки для пролонгації термінів зберігання. Незалежно від напрямку її подальшої переробки (консервування, висушування) або транспортування на ферму розташовану на значній відстані є ефективним частково зневоднити сировину та знизити початкову вологість. Одним з найпоширеніших методів зниження вологості при її високих початкових показниках є віджимання пресуванням за допомогою шнекових пресів. Запропоновано та обґрунтовано конструктивні параметри антивібраційної віджимної насадки двогвинтового пресу для забезпечення стабільності процесу зневоднення дробини та зменшення енергетичних витрат завдяки досягненню стабільності процесу пресування. Представлено конструкція експериментального зразка двогвинтового пресу для зневоднення пивної дробини з використанням віджимної насадки з теоретично обґрунтованою формою поверхні. Розроблено математичну модель процесу взаємодії поверхні віджимної насадки з сировиною, яка зв'язала розподіл тиску в зоні контакту середовища та поверхню віджимної насадки з її конструктивними параметрами. Встановлена геометрія поверхні віджимної насадки у вигляді експоненціальної функції з ступеневим коефіцієнтом. Запропоновано щільність розподілу фільтруючих отворів за довжиною в залежності від необхідної виробничої продуктивності. Експериментально підтверджено розподіл тиску за довжиною віджимної насадки двогвинтового пресу. Отримані динамічні залежності зміни тиску з часом, що показують стабільність проходження процесу пресування та зменшення вібрації у процесі при різній частоті обертання гвинтів і ширині вихідного отвору. Запропоновано оптимальні параметри роботи двогвинтового пресу для зневоднення пивної дробини.

Ключові слова: віджимна насадка, пивна дробина, зневоднення, геометрія поверхні, процес пресування.

Вступ. Вивченню питання підготовки до використання побічного продукту виробництва пива - пивної дробини, останнім часом приділяється все більше уваги. Це спровоковано прагненням виробників фермерської продукції до зменшення собівартості через зниження витрат на закупівлю кормів. Розглянемо побічний продукт

пивоваріння – пивну дробину у якості добавки до раціонів годівлі тварин. Можемо зазначити вміст в дробині таких поживних складових: білку, жирів, клітковини, заліза, цинку, мікроелементів [1, 3]. Це показує доцільність її використання, але для цього виникає необхідність в переробці, щоб збільшити терміни зберігання для подальшого



використання. Пивна дробина за технологічним процесом виробництва пива утворюється з досить високою вологістю – 75 - 85% вологи. В такому вигляді цей продукт має доволі малі терміни зберігання і є не досить зручним для транспортування. В літній період – це 1-2 доби, зимовий – 2-3 доби [2, 3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Виходячи з задачі по знаходженню енергоефективного методу пролонгації зберігання пивної дробини на час від 3 місяців та більше було проведено аналіз методів зберігання та виявлено основні напрямки переробки для можливості подальшого використання. Це такі методи переробки, як: висушування, гранулювання, консервація [1]. Кожен з цих методів забезпечує якісне збереження продукції з найменшими втратами зберігальної цінності. Параметри вологості, яким повинен відповідати продукт, що готується до зберігання для кожного напрямку істотно відрізняються. Розглянемо консервацію дробини у плівковій рукаві, як спосіб пролонгації, що потребує найменших енерговитрат. Оптимальна вологість, необхідна для нормального збереження консервованого продукту 60-65% [4]. Виходячи з аналізу сучасних машин та методів зневоднення високовологих дисперсних матеріалів можна зазначити, що найнижчих показників кінцевої вологості продукту при механічному впливі вдається досягати за рахунок застосування вібраційних навантажень [5]. Використання гвинтових пресів для зневоднення пивної дробини у діапазоні високих показників кінцевої вологості (60-70%) є більш ефективними та менш енерговитратними. Такі преси повністю забезпечують виконання поставлених вимог по зневодненню до необхідної вологості, тому вдосконалення конструкції та збільшення продуктивності гвинтових пресів є актуальним напрямком [6].

Метою досліджень є оцінка зменшення вібрації у процесі зневоднення пивної дробини шляхом обґрунтування конструктивних параметрів віджимної насадки пресу.

Викладення основного матеріалу. Якість віджимання високовологих дисперсних матеріалів, як і в'язко-пластичних матеріалів (представником яких є пивна дробина) гвинт-пресовим методом, залежить від раціонального і оптимального вибору геометрії віджимної насадки та щільності розподілу фільтруючих отворів по площині насадки. Теоретичне обґрунтування конструктивних параметрів віджимної насадки базується на реологічних властивостях пивної дробини.

Пивна дробина під час переміщення у віджимній насадці гвинтового пресу розглядається, як складна система з

нестационарною поведінкою. В процесі віджимання ще й змінюються властивості матеріалу пивної дробини, пов'язані із ступенем ущільнення. Ця супутня деформація і є головною особливістю процесу віджимання пресуванням – показує відповідну зміну проникності каналів твердої фази [6]. Така особливість великою мірою затрудняє отримання адекватних математичних залежностей і аналіз процесів пресування і віджимання. Отримання відповідних математичних залежностей процесів дозволить здійснити проектування нових конструкцій.

У початковий момент часу зовнішній тиск на матеріал сприймається рідиною, а у кінці пресування – скелетом матеріалу [7]:

$$\begin{cases} \tau = 0 \Rightarrow P = P_p, \\ 0 < \tau < \infty \Rightarrow P = P_p + P_c, \\ \tau > \infty \Rightarrow P = P_c. \end{cases} \quad (1)$$

де P_c , P_p – відповідно тиски, що розвиваються в скелеті твердої фази і рідині, що віджимається, які в сумі складають зовнішній тиск P , Па; τ – час.

У початковий момент часу весь тиск приймає на себе рідина. По мірі віджимання рідини з матеріалу тиск перерозподіляється між рідиною і скелетом твердої фази. У кінці віджимання уся реакція від зовнішнього тиску сприймається твердою фазою. Це свідчить про можливість рішення поставленого завдання віджимання відносно одного з тисків, а саме відносно тиску скелета твердої фази.

При постановці задачі враховували, що ущільнення матеріалу веде до його деформації, яка у свою чергу впливає на процес фільтрації і тому необхідно враховувати пружно-пластичні деформації матеріалу.

Згідно з розробленою конструктивною схемою повздовжній переріз віджимної насадки має вигляд криволінійної трапеції (рис. 1)

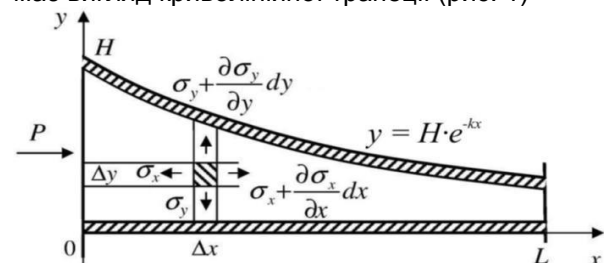
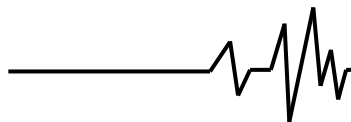


Рис. 1. Повздовжній переріз віджимної насадки

Для вирішення поставленої задачі розглянемо плоску задачу теорії пружності в прямокутних координатах. Для цього використаємо основні рівняння теорії пружності, а саме: диференціальні рівняння рівноваги (2) та закон Гука (3):



$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0, \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_y), \\ \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu\sigma_x). \end{cases} \quad (3)$$

де σ_x, σ_y – нормальні напруженості по осям Ох, Оу відповідно. $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ – відносне видовження по осям Ох, Оу відповідно. τ_{xy} – дотична напруженість. E – модуль пружності (модуль Юнга). ν – коефіцієнт Пуасона. Нехай верхня поверхня віджимної насадки (рис. 1) задана функцією , тоді відносне видовження по осі Оу ($\square y$) має вигляд:

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta y}{y} = \frac{f'(x)\Delta x}{f(x)} = \frac{f'(x)}{f(x)} \cdot \frac{\Delta x}{x} \cdot x = \varepsilon_x \cdot \frac{f'(x)}{f(x)} \cdot x, \quad (4)$$

Враховуючи пружно-пластичні деформації, визначальне співвідношення інтенсивності деформації беремо у вигляді [8]:

$$\varepsilon_y = -kx\varepsilon_x, \quad (5)$$

де k – коефіцієнт пропорційності.

Підставляючи (4) у (5) маємо:

$$\frac{f'(x)}{f(x)} \cdot x = -kx, \quad (6)$$

Рішення рівняння

$$f(x) = Ce^{kx}. \quad (7)$$

Диференціюємо рівняння рівноваги (2):

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial y \partial x} = 0, \\ \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x \partial y} = 0. \end{cases} \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial y \partial x} = \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x \partial y}, \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2}. \quad (10)$$

Підставимо у (10):

$$\frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial x^2} \frac{1-k\nu x}{\nu-kx} + 2 \frac{\partial \sigma_y}{\partial x} \frac{k(1-\nu^2)}{(\nu-kx)^2} + \sigma_y \frac{2k^2(1-\nu^2)}{(\nu-kx)^3}. \quad (11)$$

Граничними умовами для рівняння (11) є

$$\sigma_y|_{x=0} = P, \quad (12) \quad \left. \frac{\partial \sigma_y}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad (13)$$

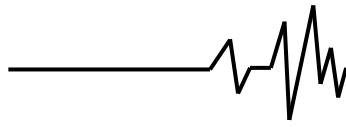
Враховуючи граничні умови (12) і (13), отримуємо два диференціальних рівняння другого порядку:

$$\frac{d^2 Y}{dy^2} - \lambda^2 Y = 0, \quad Y|_{x=0} = P, \quad \left. \frac{dY}{dx} \right|_{x=0} = 0, \quad (14)$$

$$\frac{d^2 X(x)}{dx^2} \cdot \frac{1-k\nu x}{\nu-kx} + 2 \frac{dX(x)}{dx} \cdot \frac{k(1-\nu^2)}{(\nu-kx)^2} + X(x) \cdot \left(\frac{2k^2(1-\nu^2)}{(\nu-kx)^3} - \lambda^2 \right) = 0, \quad (15)$$

$$X|_{x=0} = 1, \quad \left. \frac{dX}{dx} \right|_{x=0} = 0.$$

Рішенням рівнянь (14) та (15) є наступні функції:



$$X(x) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{B}{\sqrt{B^2 - 4AC}} \right) e^{\frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}x} + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{B}{\sqrt{B^2 - 4AC}} \right) e^{\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}x};$$

$$Y(x) = \frac{P}{2} e^{-\lambda x} (1 + e^{2\lambda x});$$

(16)

де $A = \frac{1 - k\nu x}{\nu - kx}$, $B = 2 \frac{k(1 - \nu^2)}{(\nu - kx)^2}$, $C = \frac{2k^2(1 - \nu^2)}{(\nu - kx)^3} - \lambda^2$.

Проаналізувавши рівняння (12) робимо висновок, що при значенні тиску $P(x) = 0$ виникає заклинювання матеріалу у порожнині віджимної насадки. Враховуючи зменшення довжини найбільш оптимальним є вибір геометрії віджимної насадки у вигляді наступної функції (при $0 < x < 210$ мм):

$$y = 100 \cdot e^{-0,0064x},$$

(17)

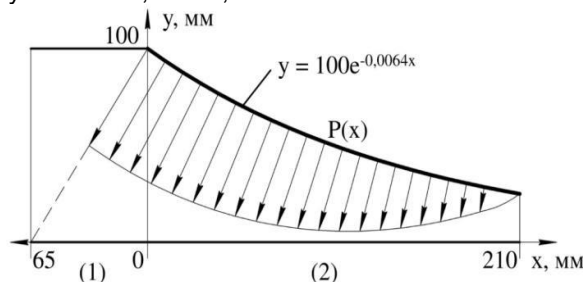


Рис. 2. Розподіл тиску за довжиною насадки в зонах первинного (1) і вторинного (2) зневоднення

Остаточно маємо:

$$P(x) = \frac{P_0}{4} e^{-\lambda x} (1 + e^{2\lambda x}) \times \left[\left(1 - \frac{B}{\sqrt{B^2 - 4AC}} \right) e^{\frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}x} + \left(1 + \frac{B}{\sqrt{B^2 - 4AC}} \right) e^{\frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}x} \right].$$

(18)

Враховуючи, що тиск становить $P = 2,9$ МПа [9] і коефіцієнт Пуассона дорівнює $\nu = 0,5$, маємо рівняння функції представлено на графіках (рис. 3) при різних коефіцієнтах k .

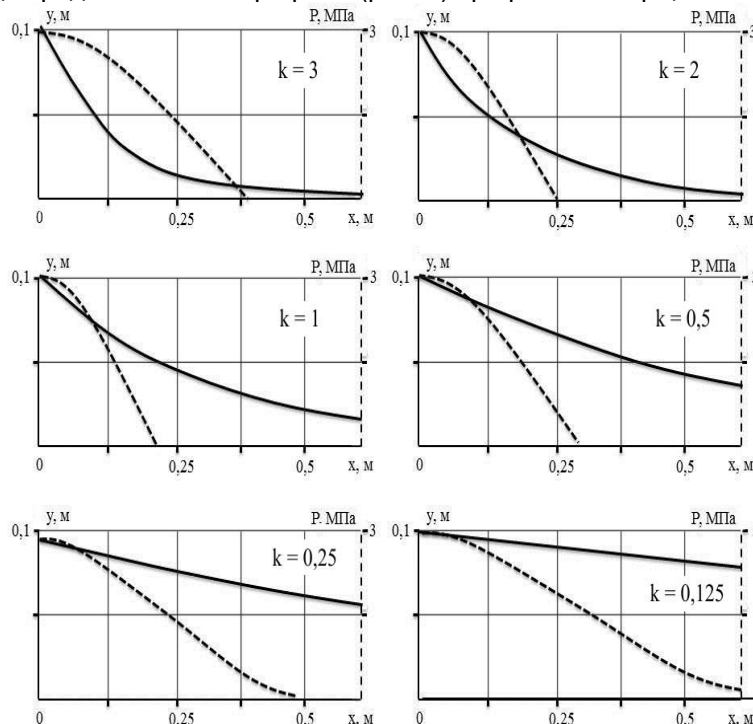
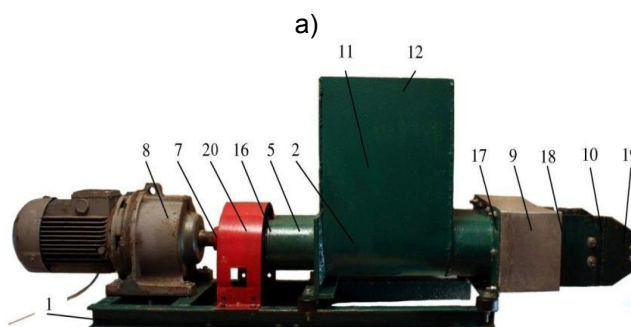
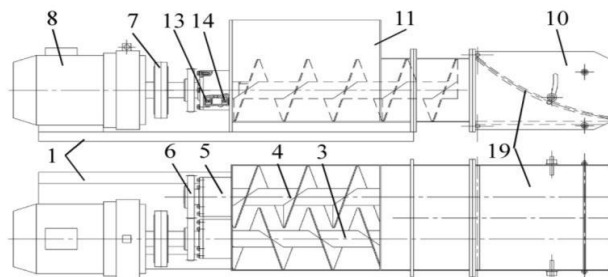


Рис. 3. Розподіл тиску по довжиною насадки при різних коефіцієнтах k

Експериментальні дослідження виконувалися на установці, що складалася з експериментального зразку двогвинтового пресу та устаткування для зміни параметрів робочого процесу зневоднення пивної дробини (блок керування з частотним перетворювачем Danfoss) та контрольно-вимірювального устаткування (відеографічного регістратора Екограф-Т і персонального комп'ютера з встановленим програмним забезпеченням).



1 – станина; 2 – корпус; 3 – гвинт правої навівки; 4 – гвинт лівої навівки; 5 – рукав підшипниковий; 6 – шестерня; 7 – муфта ланцюгова; 8 – мотор-редуктор; 9 – перфорована насадка; 10 – віджимна насадка; 11 – камера приймальна; 12 – горловина завантажувальна; 13, 14 – шарикопідшипники; 15 – манжета; 16 – прохідна; 17, 18 – фланці; 19 – пластина регулююча ширину вихідного отвору; 20 – захисний кожух

Рис. 4. Конструктивно-технологічна схема (а) та загальний вигляд (б) двогвинтового пресу для зневоднення високовологих кормів

За конструкцією експериментальний прес для зневоднення пивної дробини (рис. 4) виконано зі зварного корпусу 2, закріпленого на станині 1. Корпус має приймальну камеру 11 з прямокутною у перерізі завантажувальною горловиною 12. У нижній частині корпусу паралельно один до одного розташовані два горизонтальні гвинти з правою 3 і лівою 4 навівкою. По осі гвинти один відносно іншого встановлені зі зміщенням на пів кроку гвинта. Задні кінці валів утримуються консольно у підшипникових опорних блоках 13 і 14, розташованих в рукавах 5. Для запобігання проникнення рідкої фракції до переднього

підшипника 13 встановлено манжети 15. Задні підшипники 14 в підшипникових рукавах 5 фіксуються кришками 16. На вихідних кінцях валів на шпонках встановлено циліндричні шестерні 6, які входять в зчеплення одна з одною, чим досягається зустрічне обертання гвинтів. На кінці валу гвинта 4 лівої навівки встановлена ланцюгова муфта 7, за допомогою якої цей вал з'єднується з електричним мотор-редуктором 8, теж встановленим на станині 1. Потужність двигуна асинхронного мотор-редуктора ЗМП-40 складала 1,5 кВт.

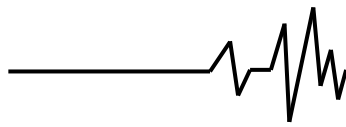
Гвинти мають однаковий крок за усю довжиною. Кінцева частина гвинтів закрита перфорованою насадкою 9, яка має отвори діаметром 1 мм по всій поверхні. Перфорована насадка приєднана до фланця 17 корпусу 2 за допомогою болтових з'єднань. На вихідному кінці перфорованої насадки 9 через фланець 18 болтовими з'єднаннями прикріплено віджимну насадку 10, за допомогою регулюючих пластин 19 якої змінюється площа перетину вихідного отвору. Пластини віджимної насадки теж мають отвори по всій поверхні. Змінюючи площу перетину вихідного отвору змінюється опір, якому піддається матеріал в процесі зневоднення.

В процесі роботи рівень пивної дробини в приймальній камері постійно підтримується, щоб висота завантаженої дробини над витками гвинтів була не менше 250–300 мм, що дозволяє забезпечувати постійність режиму зневоднення матеріалу.

Конструкція експериментального зразка пресу та використання обладнання експериментальної установки передбачало можливість зміни наступних конструктивних та режимних параметрів робочого процесу:

- частоту обертання гвинтів пресу від 0 до 1,7 с⁻¹;
- відстань між кришками віджимної насадки від 0 до 60 мм;
- довжину перфорованої насадки від 50 до 300 мм;
- довжину віджимної насадки від 90 до 400 мм;
- форму поверхні пластин віджимної насадки – пряма, увігнута або опукла;
- зміщення гвинтів по осі (одного відносно іншого) – на одну третину, дві третини або на пів кроку гвинта.

В результаті експериментальних досліджень визначення розподілу тиску по довжині і ширині віджимної насадки були отримані динамічні криві, що характеризують зміну тиску з часом при різній ширині вихідної щілини і частоті обертання гвинтів [9]. З графіків видно, що в початковий момент часу спостерігалось зростання тиску, що характеризує процес ущільнення пивної



дробини у віджимній насадці. Далі поступово-затухаюча зміна тиску, яка пояснюється стабілізацією процесу зневоднення пивної дробини. Аналіз експериментальних показує, що найбільш стабільним виглядає тиск при високій частоті обертання гвинтів ($n = 71$ об/хв.) і мінімальній ширині щілини вихідного отвору віджимної насадки ($h = 10$ мм). Це пояснюється тим, що при великій частоті обертання гвинтів

спостерігається більш рівномірний розподіл швидкостей руху матеріалу в області гвинтів.

Для ідентифікації теоретичної моделі процесу зневоднення пивної дробини побудовані експериментальні і теоретичні графіки розподілу тиску по довжині віджимної насадки представлені на рис. 5.

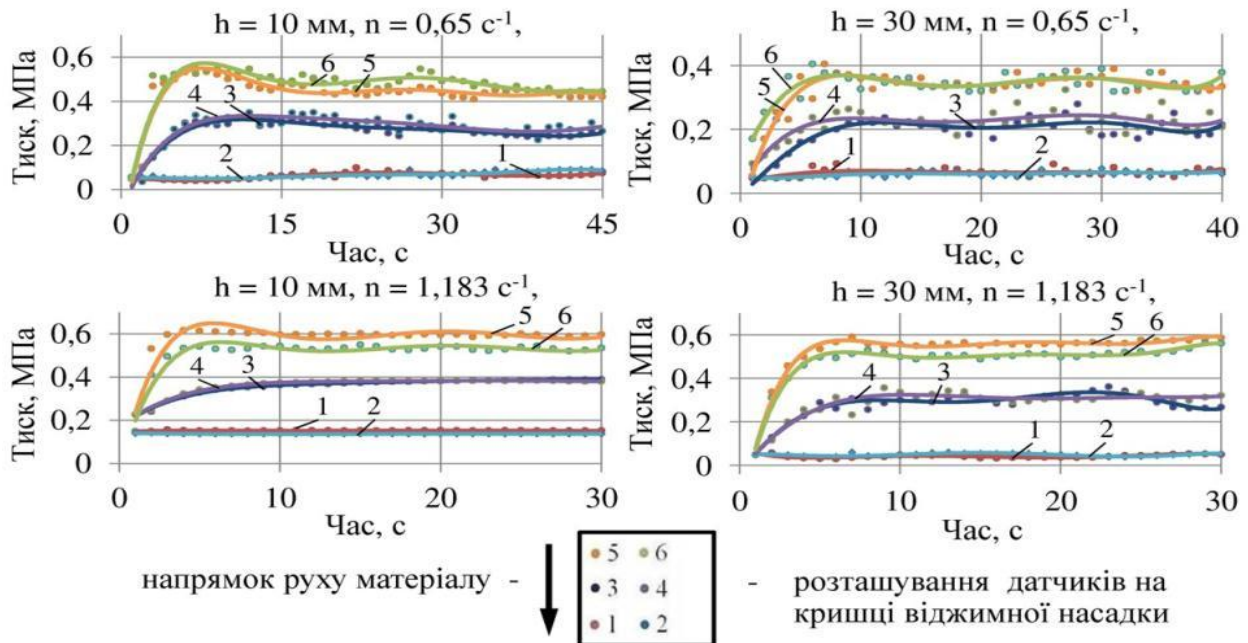
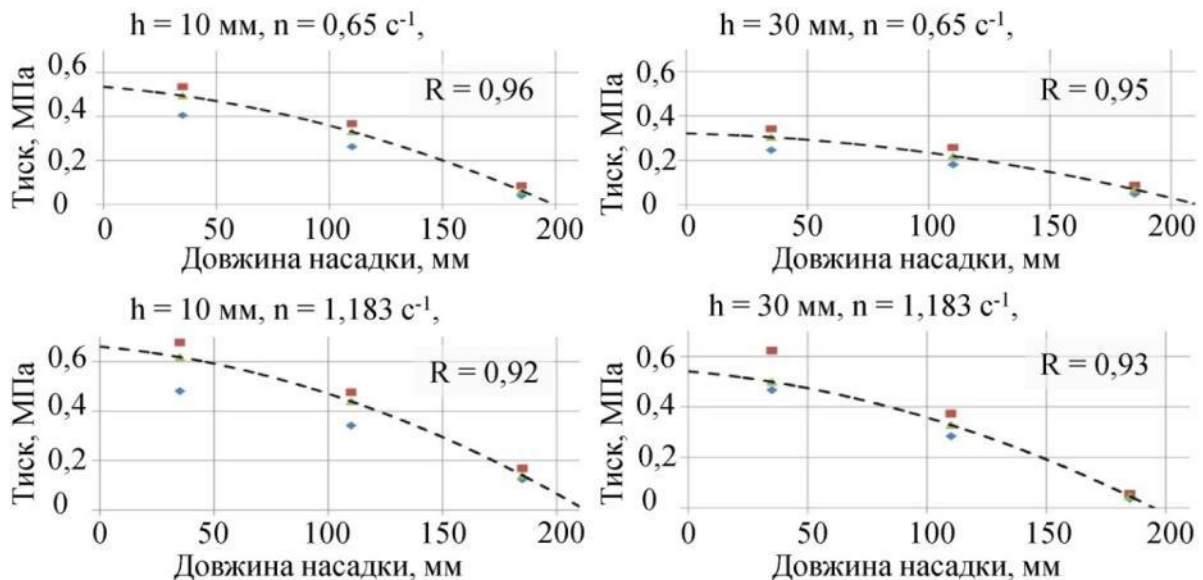
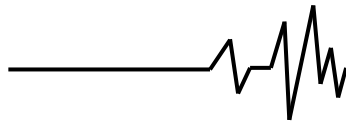


Рис. 5. Графіки динамічної зміни тиску за часом при різній ширині вихідної щілини віджимної насадки і частоті обертання гвинтів.





З графіків, наведених на рис. 5 та 6 видно, що розрахований теоретично тиск знаходиться у довірчому коридорі експериментальних досліджень. Це дає змогу стверджувати, що теоретичне рівняння розподілу тиску за довжиною віджимної насадки є справедливим при будь-якому значенні частоти обертання гвинтів.

В результаті проведених експериментальних досліджень була підтверджена теоретична модель процесу зневоднення пивної дробини і отримана експериментальна залежність перепаду тиску за довжиною віджимної насадки. Абсолютна похибка вимірювань ΔP склала 0,06 МПа.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Розроблено математичну модель процесу взаємодії поверхні віджимної насадки з сировиною (пивною дробиною), яка зв'язала розподіл тиску в зоні контакту середовища та поверхнею віджимної насадки з її конструктивними параметрами. Встановлено геометрію поверхні віджимної насадки у вигляді експоненціальної функції зі ступеневим коефіцієнтом $k = 0,0064 \text{ мм}^{-1}$ та щільність розподілу фільтруючих отворів за довжиною – $L = 210 \text{ мм}$ в залежності від необхідної виробничої продуктивності. Експериментально підтверджено функцію розподілу тиску за довжиною віджимної насадки двогвинтового пресу. Отримані динамічні залежності, які характеризують зміну тиску з часом при різній ширині вихідного отвору і частоті обертання гвинтів. Аналіз експериментальних досліджень показав, що найбільш стабільним є тиск при частоті обертання гвинтів – $n = 1,183 \text{ с}^{-1}$ і мінімальній ширині вихідного отвору віджимної насадки – $h = 10 \text{ мм}$.

Список використаних джерел

1. Кошова В. М., Якименко Л. С. Способи переробки пивної дробини. Інтеграція освіти, науки та бізнесу в сучасному середовищі: літні диспути : матеріали I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 1–2 серпня 2019 р. / Дніпро, 2019. С. 326–331.
2. Славов В. П., Шуст П. Д. Пивна дробина. Агроексперт ІРГТ НААНУ Черкаси, 2010. Вип. 6 (23). С. 69–71.
3. Домарецький В. А. Технологія солоду та пива: підручник. Київ: ІНКOS, 2004. 426 с.
4. Луц П. М., Троїцька О. О. Технологічні вимоги до процесу виробництва консервованого корму з пивної дробини (продовженого терміну зберігання). *Праці Таврійського державного агротехнологічного*

університету. 2012. Вип. 12(т. 1). С. 105–108.

5. Севостьянов І. В., Поліщук О. В., Слабкий А. В. Розробка та дослідження установки для двокомпонентного віброударного зневоднення відходів харчових виробництв. *Восточно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. № 5(7). С. 40–46.

6. Створити наукові основи глибокої переробки та використання біосировини для енергетичного і кормового забезпечення виробництва тваринницької продукції. Звіт про НДР (заключний) Інститут механізації тваринництва НААН (№ ДР 0108U005350, Інв. № 0211U000689) Запоріжжя: УкрІНТЕІ, 2010. С. 100

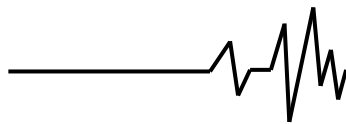
7. Атаманюк В. М., Гумницький В. М. Наукові основи фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів : монографія. Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2013.

8. Исаев Н. И. Процесс отжима жидкости из дисперсных пищевых сред. Ленинград : ЦНИИТЭИ Пищепром, 1988. 150 с.

9. Луц П. М., Алієв Е. Б. Результати експериментальних досліджень процесу віджимання пивної дробини двогвинтовим пресом. Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві. Запоріжжя : зб. наук. праць Інституту механізації тваринництва НААН, 2011. Вип. 2(8). С. 205–213.

References

1. Koshova V. M. & Yakymenko L. S. (2019). Sposoby pererobky pyvnoi drobyny [Methods of processing Spent grains]. *Intehratsiia osvity, nauky ta biznesu v suchasnomu seredovyschi: litni dysputy : materialy I Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii, 1-2serpnia 2019 r.* Dnipro: INKOS [in Ukrainian].
2. Slavov V. P., & Shust P. D. (2010). Pyvna drobyna [Spent grains]. *Ahroekspert / IRHT NAANU.* – Cherkasy [in Ukrainian], – Iss. 6 (23). S. 69-71.
3. Domaretskyi V. A. (2004) *Tekhnolohiia solodu ta pyva [Malt and beer technology]*. Kyiv: INKOS [in Ukrainian].
4. Luts P. M. (2012). *Tekhnolohichni vymohy do protsesu vyrobnytstva konservovanoho kormu z pyvnoi drobyny (prolonhovanoho terminu zberihannia) [Technological requirements for the process of production of canned feed from spent grains (extended shelf life)]*, – Melitopol: Pratsi Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu / TDATU [in Ukrainian].



5. Sevostianov, I. V. Polishchuk, O. V., Slabkyi, A. V. (2015) Rozrobka ta doslidzhennia ustanovky dlia dvokomponentnoho vibroudarnoho znevodnennia vidkhodiv kharchovykh vyrobnytstv [Elaboration and research of installation for two-component vibro-blowing dehydration of food productions waste], 5/7, 40 - 46 Vostochno-evropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohiy [in Ukrainian].

6. Stvoryty naukovi osnovy hlybokoi pererobky ta vykorystannia biosyrovyny dlia enerhetychnoho i kormovoho zabezpechennia vyrobnytstva tvarynnytskoi produktsii. (2010). Create scientific bases for deep processing and use of bio raw materials for energy and feed production of livestock products : Zvit pro NDR (zakliuchnyi) Instytut mekhanizatsii tvarynnytsva NAAN (№ DR 0108U005350; Inv. № 0211U000689), – Zaporizhzhia: UkrINTEI [in Ukrainian].

7. Atamaniuk V. M, & Humnytskyi Ya. M. (2013) Naukovi osnovy filtratsiinoho sushinnia dyspersnykh materialiv : monohrafiia [Scientific bases of filtration drying of dispersed materials: monograph]. – Lviv: «Lvivska politekhnika» [in Ukrainian].

8. Ysaev N. Y. (1988) Process otzhima zhidkosti iz dispersnykh pishchevykh sred [The process of squeezing liquid from dispersed food media]. – Leningrad: Dep. v TsNYYTЭY Pysheprom. 150 s. [In Russian].

9. Luts P. M. & Aliev E. B. (2011). Rezultaty eksperymentalnykh doslidzhen protsesu vidzhymannia pyvnoi drobyny dvohvyntovym presom [The results of experimental studies of the process of squeezing spent grains with a two-screw press] Zaporizhzhia: In-t mekh. tvarynnytsva NAAN. – Vyp. 2(8). – ISSN 2075-1591. [in Ukrainian].

GROUND OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF ANTI-VIBRATION PRESS NOZZLE

The use of spent grains as an additional component of diets in animal nutrition in modern

conditions is a very important issue. As a result of its seasonal formation in large quantities, there is a need for additional processing to extend the shelf life. Regardless of the direction of its further processing (canning, drying) or transportation to a farm located at a considerable distance, it is effective to partially dehydrate raw materials and reduce the initial humidity. One of the most common methods of reducing humidity at its high initial values is squeezing by pressing with screw presses. The design parameters of the anti-vibration squeezing nozzle of the two-screw press are offered and substantiated to ensure the stability of the dehydration process of pellets and reduce energy costs by achieving the stability of the pressing process. The design of an experimental sample of a two-screw press for dehydration of spent grains using a squeezing nozzle with a theoretically sound surface shape is presented. A mathematical model of the process of interaction of the surface of the squeezing nozzle with the raw material, which linked the pressure distribution in the contact zone of the medium and the surface of the squeezing nozzle with its design parameters. The geometry of the surface of the squeezing nozzle in the form of an exponential function with a power factor is established. The density of distribution of filter openings on length depending on necessary production productivity is offered. The pressure distribution along the length of the two-screw press nozzle has been experimentally confirmed. Dynamic dependences of pressure change with time are obtained, which show the stability of the pressing process and the reduction of vibration in the process at different speeds of the screws and the width of the outlet. The optimal parameters of the two-screw press for dehydration of spent grains are proposed.

Key words: anti-vibration squeezing nozzle, spent grains, dehydration, surface geometry, pressing process.

Відомості про авторів

Луц Павло Михайлович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри агроінженерії та технічного сервісу Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: luts@vsau.vin.ua).

Luts Pavlo – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Agricultural Engineering and Technical Service of Vinnytsia National Agrarian University (St. Soniachna, 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: luts@vsau.vin.ua).